ESSAI DE DÉTERMINATION DE L'AGE DE DEUX PODZOLS VOSGIENS PAR LA PALYNOLOGIE

BERNARD GUILLET

Centre de Pédologie — C.N.R.S.
Nancy

RÉSUMÉ

L'auteur étudie l'évolution de deux podzols humo-ferrugineux du Plateau Lorrain et des Vosges hercyniennes, par la méthode des analyses palynologiques.

Le podzol de Saint-Gorgon (Plateau Lorrain) résulte de la dégradation par l'homme d'une chênaie avec Tilleul à l'âge du Bronze. La podzolisation a commencé avec l'arrivée de *Calluna* et un horizon Bh humique s'est développé sur un ancien horizon d'accumulation faiblement argillique. Le podzol n'est plus fonctionnel actuellement.

Le podzol de Barembach (Vosges) est un podzol climacique ayant évolué sous une Sapinière à Hêtre ancienne (Fin du Subboréal, début du Subatlantique).

En dépit d'une formation simultanée des deux podzols, les datations au ^{14}C des horizons Bh, sont différentes, confirment le caractère « fossile » du podzol de Saint-Gorgon.

SUMMARY

Soil formation of two iron-humic podzols in the Plateau Lorrain and in the hercynian Vosges is described by the pollen analysis method.

The St Gorgon's iron-humic podzol (Plateau Lorrain) follows from the human degradation of an oakwood with lime, at Bronze Age. Podzolisation was started from *Calluna* and an iron-humus pan was developped inside an ancient clay accumulation horizon — Podzolisation is now stopped.

The Barembach's iron-humic podzol in Vosges is a climacic soil which was formed under a firwood with beech (end of Subboreal, beginning of Subatlantic Period).

In spite of simultaneous formation of the two podzols, the Radiocarbon age measurements of the iron-humus pans are different. This confirms the « fossiles » condition of the St Gorgon podzol.

ZUSAMMENFASSUNG

Entwicklung zweier Eisenhumuspodzole in Lothringen bzw. in den Vogesen ist pollenanalytisch untersucht worden. Der Podzol von Saint-Gorgon (Lothringen) entstand nach Degradierung eines Linden-Eichenwaldes seit der Bronzezeit. Die Podzolierung hat nach der

ŒCOL. PLANTA.
GAUTHIER-VILLARS
III, p. 101-119, 1968.

Ausbreitung von der *Calluna* angefangen ; über einem älteren, leicht tonhaltigen Orthorizont hat sich später ein Eisenhumusortstein entwickelt. Die Podsolierung ist heute nicht mehr im Gange. Der Barembacher Podzol (Vogesen) ist ein Klimax-Podzol, der unter einem ehemaligen Buchen-Tannenwald ausgereift ist (Ende der Subboreal-und anfangs der subatlantischen Periode).

Trotz gleichzeitiger Bildung unterscheiden sich die beiden Böden. Nach ^{14}C-Bestimmungen sind die Eisenhumusortsteine ungleich alt ; derjenige von Saint-Gorgon konnte als fossil bestätigt werden.

Avant que les travaux de DIMBLEBY (1952) ne démontrent l'intérêt des analyses polliniques des sols, la plupart des palynologues les considéraient avec méfiance. Depuis, on a exploité des analyses palynologiques de sols à des fins archéologiques (DIMBLEBY, 1963), phytosociologiques (GEHU et PLANCHAIS, 1965), écologiques (MUNAUT, 1967). Nous nous proposons d'envisager les rapports existants entre la palynologie et l'évolution des sols dans les Vosges.

Nous comparerons les analyses polliniques de deux podzols humo-ferrugineux situés dans des régions différentes au point de vue géographique, climatique, géologique.

Le premier podzol étudié, podzol de Saint-Gorgon, se localise sur le plateau lorrain, dans la forêt de feuillus de Saint-Gorgon Sainte-Hélène, proche de Rambervillers (Vosges, à l'altitude de 320 m). Les caractéristiques climatiques sont typiquement celles du plateau lorrain avec une hauteur moyenne de précipitations de 830 mm et une température moyenne normale de 9 °C. Le substratum géologique du massif forestier comprend principalement le Muschelkalk marneux sur lequel reposent des alluvions anciennes rubéfiées. Ces alluvions sont elles-mêmes recouvertes de limons éoliens d'épaisseur variable. Dans une étude des sols de cette forêt, LE TACON (1966) distingue un complexe de sols lessivés à pseudogley sur limons et un complexe de sols bruns lessivés et sols bruns acides sur mélange d'alluvions et de limons. L'érosion ayant localement décapé les limons, sur les alluvions anciennes se sont développés des podzols humo-ferrugineux que nous avons étudiés.

Le second podzol se situe au pied du Struthof (800 m d'altitude) dans l'étroite vallée du Barembach, affluent de la Bruche, au Sud-Ouest de Schirmeck (Bas-Rhin), à l'altitude de 570 m. Les conditions climatiques de cette région des Vosges hercyniennes correspondent au climat montagnard typique, à forte nébulosité, la hauteur moyenne des précipitations est de 1 288 mm et la température moyenne normale de 8,5 °C (au poste climatique de Rothau). Ce podzol humo-ferrugineux s'est développé sur l'arène du granite de Kagenfels, lequel forme une bande allongée Est-Ouest de 12 km de long et de 1 à 2 km de large. Ce granite hercynien à gros grain, leucocrate, est essentiellement formé de quartz automorphes, d'orthose, de plagioclases acides et de rares biotites et muscovites. Il s'agit donc

d'un granite très acide, pauvre en bases (0,85 % de CaO, 4,8 % de K_2O) et en fer (1 % de Fe_2O_3), s'altérant en une arène grossière, filtrante, formée de quartz et de feldspaths (von ELLER, 1961).

I. ÉTUDES PÉDOLOGIQUES

1) PODZOL HUMO-FERRUGINEUX DE SAINT-GORGON.

a) *Emplacement :*

Dans une sablière exploitée de Saint-Gorgon, les podzols humo-ferrugineux sur alluvions anciennes, voisinent des sols lessivés podzolisés en surface sur limons. Pente de 2 % ; altitude de 320 m.

b) *Végétation :*

Chênaie, Hêtraie acidiphile avec Bouleau.
Ilex aquifolium.
Sorbus aucuparia.
Salix capraea.
Calluna vulgaris.
Vaccinium myrtillus.
Deschampsia flexuosa.
Polytrichum formosum.

c) *Description du profil :*

A_0 .... Litière à décomposition lente d'aspect feuilleté, épaisse de 1 à 2 cm.

A_1 (0-15 cm) .... Horizon humifère de type moder à texture sableuse et structure particulaire. Consistance friable à l'état sec, parcouru de racines peu abondantes. Présence de gros galets de quartz cassés, couleur noire (2,5 YR 2/0 : Code Munsell).

A_2 (15-63 cm) .... Horizon décoloré à texture sableuse avec gros galets de quartz. Aspect grenu sans cohésion. Couleur gris clair (5 YR 7/1).

Bh (63-70 cm) .... Peu épais, cet horizon sans galet présente une texture sableuse. Horizon compact, cohérent, de couleur marron foncé (5 YR 2/2). Limite nette avec le Bs.

Bs (70-80 cm) .... Horizon induré, presque aliotique, présentant peu de galets. Texture sableuse. Couleur rouge (5 YR 5/8).

C (sup. à 80 cm) .... Les horizons supérieurs sans grande quantité de galets reposent sur des alluvions très grossières en place, consolidées et rubéfiées comprenant surtout des graviers et des gros galets.

d) *Interprétation pédologique :*

Résultats analytiques du podzol humo-ferrugineux de Saint-Gorgon (voir Tableau I).

Sol sableux, pauvre en argile et en limons sauf au niveau de l'horizon Bh. L'humus acide (pH 3,7) a un C/N faible de 22,7 et correspond aux valeurs généralement admises pour les humus de type moder. Le C/N de l'horizon Bh est caractéristique des horizons spodiques.

Taux de saturation relativement élevé des horizons A_1 et A_2, faible en Bh et Bs. Capacité d'échange totale T relativement faible en A_1 et A_2, normale en Bh, en raison de la richesse en matière organique de cet horizon. Le taux de saturation élevé des horizons superficiels peut s'expliquer par le jeu du cycle biologique des cations provenant de la décomposition actuelle de la litière de chêne et bouleau.

La migration de l'alumine et silice libre est moins importante que celle du fer libre (indice voisin de 20), les acides fulviques ont participé à cet entraînement en tant qu'agent vecteur complexant.

TABLEAU I

Résultats analytiques : podzol humo-ferrugineux, Saint-Gorgon

Horizon	Analyse granulométrique						C %	N %	C/N		A.F. C %	A.H. C %
	S.G.	S.F.	L.G.	L	A.	Mat. org.						
A_1	43,86	15,93	7,7	5,5	18,4	10,58	5,29	0,233	22,7		0,32	0,56
A_2	65,89	15,59	4,7	7,1	2,6	0,96	0,48	0,025	19,2		0,15	0,11
Bh	55,56	11,33	3,3	11,9	10,3	10,78	5,39	0,170	31,7		1,92	0,92
Bs	76,75	13,73	4,3	0,0	4,9	2,52	1,26	0,062	20,3		0,74	0,14

Horizon	pH	Bases échangeables m.eq./100 g							Sesquioxydes libres		
		Ca	Mg	K	S	T	S/T		Al ‰	Fe ‰	Si ‰
A_1	3,7	1,03	0,51	0,36	1,90	15,90	11,9		0,42	0,80	0,05
A_2	3,8	0,25	0,17	0,06	0,48	2,70	17,8		0,27	1,24	0
Bh	4,3	0,38	0,27	0,22	0,87	32,70	2,7		4,89	12,0	0,2
Bs	4,1	0,13	0,18	0,19	0,50	15,40	3,2		5,93	15,9	0,5

A.F. : Acides fulviques.
A.H. : Acides humiques.

Les taux peu importants en alumine et silice s'expliquent par l'absence de minéraux silico-alumineux de type feldspath, la pauvreté en argile des sables alluvionnaires rubéfiés. Par contre, les taux élevés en fer libre découlent de la forte potentialité en oxydes de fer des alluvions.

2) Podzol humo-ferrugineux de Barembach.

a) *Emplacement :*

Zone reboisée située au confluent du ruisseau la Bauchure et du Barembach. Exposé au Sud-Ouest avec une pente de 10 % le podzol s'est développé sur le granite de Kagenfels. Altitude de 570 m.

b) *Végétation :*

Jeune peuplement de Sapin et Epicéa.
Calluna vulgaris.
Vaccinium myrtillus.
Deschampsia flexuosa.
Hypnum loreum.
Polytrichum formosum.

c) *Description du profil :*

A_0 (0-8 cm) .... Humus brut épais de 8 cm coiffé par une strate muscinale superficielle de 2 cm.
On n'y distingue aucune des couches caractéristiques (L, F, H) ; l'horizon est uniformément humifié sous les mousses. Réseau dense de racines de callune.

A_1 (0-17 cm) .... Horizon épais à texture sableuse et graveleuse. Le quartz et les feldspaths grossiers se juxtaposent aux agrégats organiques abondants. Consistance pâteuse à l'état humide. Couleur noire (5 YR 2/1). Limite tranchée et ondulée avec A_2.

A_2 (17-33 cm) .... Décoloré, gris rose, à la partie supérieure ; il prend une teinte brun chocolat à la partie inférieure.
Horizon d'aspect grenu, d'une grande porosité, de texture sableuse et graveleuse.
Couleur moyenne gris rougeâtre (5 YR 5/2).
Limite progressive avec Bh.

Bh (33-55 cm) .... L'accumulation de matière organique se présente par taches diffuses et ondulées bien marquées le long d'anciennes racines à direction verticale. En général, le Bh de couleur brun noir se plaque en petits lits et sur des zones de fractures dans un ensemble Bh-Bs presque partout consolidé à tendance aliotique accusée. Couleur marron clair (5 YR 4/6).

Bs (55-85 cm) .... Horizon aliotique avec des infiltrations de matière organique noire en réseau irrégulier. Couleur rouge-jaunâtre (5 YR 4/8).

C (sup. à 85 cm) ..... Arène rose orangé (5 YR 6/6), grossière. Présence de grosses racines d'arbres abattus.

d) *Interprétation pédologique :*

Résultats analytiques du podzol humo-ferrugineux sur granite de Barembach (voir Tableau II).

Sol à texture sableuse, grossière, pauvre en argile, bien que cette fraction granulométrique atteigne 10,3 % dans l'arène. Il n'y a pas d'accumulation d'argile au niveau des horizons Bh et Bs.

TABLEAU II

Résultats analytiques, Barembach, Podzol humo-ferrugineux sur granite

Horizon	Analyse granulométrique						C %	N %	C/N		A.F. C %	A.H. C %
	S.G.	S.F.	L.G.	L.	A.	Mat. org.						
A_0						92	46	1,579	29,1			
A_1	63,2	2,8	7,9	7,0	5,4	13,32	6,66	0,312	21,3		0,38	0,88
A_2	70,1	7,0	2,7	8,1	4,9	4,32	2,16	0,095	22,7		0,26	0,11
Bh	52,2	9,0	6,0	17,8	3,8	13,20	6,60	0,174	37,9		2,94	0,48
Bs	67,8	12,7	3,4	2,1	3,8	6,08	3,04	0,092	33,0		1,60	0,18
C	66,0	11,7	3,7	8,5	10,3	1,20	0,60	0,028	21,4		0,32	0,05

Horizon	pH	Bases échangeables m.eq./100 g							Sesquioxydes libres		
		Ca	Mg	K	S	T	S/T		Al ‰	Fe ‰	Si ‰
A_0	3,4										
A_1	3,4	0,44	0,49	0,29	1,20	16,7	7,2		1,17	1,88	0,3
A_2	3,6	0,12	0,16	0,13	0,41	8,7	5		1,22	2,52	0,5
Bh	4	0,25	0,33	0,13	0,71	28,2	3		10,7	8,85	2,0
Bs	4,4	0,12	0,16	0,09	0,37	19,2	2		14,4	7,28	3,2
C	4,4								5,00	5,70	1,8

A.F. : Acides fulviques.
A.H. : Acides humiques.

Matière organique sous forme d'agrégats organiques dans le A_1 et même dans le A_2. Bien que franchement décoloré, l'horizon A_2 est encore riche en matière organique (2,16 % de carbone). Présence de matières organiques dans la roche-mère par infiltration de carbone soluble et par décomposition sur place d'anciennes racines.

Les faibles valeurs du taux d'extraction au pyrophosphate (19 % en A_1 ; 17 % en A_2) des horizons superficiels, sont imputables principalement à la présence de matière organique fraîche.

Humus brut très acide (pH 3,4) à C/N plus bas que la normale (29,1). Le C/N de l'horizon A_1 (21,3) n'est pas très élevé, celui du Bh est caractéristique des horizons spodiques.

Le complexe absorbant est presque totalement désaturé et décroît en fonction de la profondeur.

Migration accentuée des sesquioxydes, de l'alumine libre surtout, et à un degré moindre, de la silice libre, ce qui est normal pour un sol où les minéraux silico-alumineux (orthose, plagioclases) sont abondants et la roche-mère pauvre en fer.

Accumulation massive d'acides fulviques dans les horizons Bh et Bs où les taux d'extraction au pyrophosphate sont respectivement de 50 et 58 %.

II. ANALYSES PALYNOLOGIQUES DES SOLS

1) TECHNIQUES DE PRÉPARATION DES POLLENS DES SOLS.

Sauf pour le diagramme de Barembach 1, les prélèvements ont été effectués en enfonçant à intervalles réguliers, perpendiculairement au profil des cylindres d'acier de 100 mm de long et 25 mm de diamètre.

Les pollens sont extraits et préparés suivant une des méthodes de préparation des argiles : ébullition de quelques grammes (10 à 20 g) de sol dans KOH 10 %, décantation, centrifugation, rinçages. Le culot de centrifugation est repris par une solution de LÜBER (1/2 NO_3H + 1/2 eau + quelques gouttes de ClH). Après centrifugation et rinçage, les pollens et les débris organiques sont séparés de la fraction minérale par Cl_2Zn à la densité 2. La fraction surnageante, après centrifugation, est diluée jusqu'à une densité de 1,2. La suspension de pollens est recentrifugée. Après un nouveau traitement à KOH, les pollens sont colorés par une solution glycérinée de fuchsine et montés entre lame et lamelle et prêts pour le comptage.

Cette méthode convient parfaitement à tout comptage de routine ; mais dès que l'on veut chiffrer quantitativement le nombre de pollens par unité de poids de sol, il convient de faire appel à une méthode de préparation quantitative des pollens en vue de déterminer la *fréquence absolue de pollens* (A.P.F. exprimée en grains/gramme). Cette dernière méthode, mise au point et appliquée par DIMBLEBY (1961), est longue et ne diffère de la précédente que par l'absence de séparation au Cl_2Zn. Nous ne l'avons utilisée que pour argumenter par des chiffres les hypothèses de phénomènes accidentels que nous formulions lors d'une observation de comptage de pollens (voir diagramme Barembach 2).

2) VALEURS DES ANALYSES POLLINIQUES DES SOLS PODZOLIQUES.

Dans une étude comparative entre le taux de recouvrement des espèces et la pluie pollinique actuelle de divers peuplements d'essences pures ou mélangées des

Ardennes belges, HEIM (1963) a montré qu'à de rares exceptions près (Epicéa, Bouleau) il existe une relation étroite entre les pourcentages des pollens d'une espèce et son taux de recouvrement moyen tant dans un peuplement pur que dans un peuplement d'essences variées.

On sait (DIMBLEBY, 1952 et 1957) que la conservation des pollens dans les sols est fonction de l'activité biologique de l'humus du sol et du pH. Il ne reste pratiquement plus de pollens dans un sol de pH supérieur à 6.

La répartition verticale des pollens dans les sols en général, les sols podzoliques en particulier, n'est pas uniforme. DIMBLEBY (1957) et HAVINGA (1963) ont montré par des mesures de fréquence absolue de pollens que la distribution verticale quantitative du pollen obéit à une loi de décroissance logarithmique en fonction de la profondeur du sol. L'observation et les mesures d'A.P.F. permettent de mettre en évidence des répartitions anormales de pollens dans le cas d'anciennes surfaces enterrées (DIMBLEBY, 1961) et dans le cas de comblement des vides laissés par la décomposition de grosses racines ou de terriers.

La migration des pollens dans les sols acides correspond à un phénomène d'infiltration dont la vitesse dépend de l'intensité de l'activité miocrobiologique, l'acidité, la vitesse de minéralisation des agrégats organiques dans lesquels sont inclus les pollens. Ceux-ci constituent une partie de ce que les biochimistes du sol appellent « la matière organique fraîche ». Dans un travail portant entre autres sur l'étude palynologique de 55 sols sableux acides pris à divers stades d'évolution (sols bruns acides jusqu'aux podzols humo-ferrugineux), MUNAUT (1967) conclut que la vitesse d'infiltration est d'autant plus lente que le sol est plus dégradé, plus podzolique (de 1 à 5 cm par siècle).

La lenteur d'infiltration des pollens et leur bonne conservation dans les podzols évolués expliquent la présence, dans les profils, d'espèces absentes actuellement du site étudié telles que *Tilia, Corylus,* etc. *Tilia* en particulier, abondant au cours de la période Atlantique (de 5 500 à 2 500 environ av. J. C.) s'est infiltré progressivement dans le sol et s'est conservé grâce au ralentissement de l'activité biologique concomitant à l'acidification du sol. Nous nous proposons dans une note ultérieure, de montrer qu'à l'intérieur d'un site choisi, dans le cas d'un podzol humo-ferrugineux, l'évolution de la végétation est décelable depuis quelques millénaires, alors que, dans le cas d'un sol lessivé podzolique voisin, plus riche en argile, le spectre pollinique correspond à une végétation très récente.

Une des critiques importantes formulée à l'encontre des analyses polliniques des sols concerne le problème de la stratification pollinique. Si IVERSEN (1964) admet que les analyses polynologiques des mor des podzols ont même valeur que les analyses des tourbières, il se refuse toutefois à analyser les horizons minéraux tout en reconnaissant que les pollens y sont abondants. Par contre, MUNAUT (1967) constate que les variations de la composition pollinique des spectres de podzols sont parfaitement reproductibles dans différents sols d'un même site. Bien plus,

en comparant trois tourbières et 10 podzols ayant subi l'influence d'une même végétation, il observe une stratification très comparable. Il semble qu'on peut conclure à la présence d'une stratification pollinique dans les podzols, en raison de la concordance existant entre les phases de végétation observées dans les tourbières et les variations polliniques révélées par les diagrammes des podzols. Cependant il apparaît incontestable que l'héritage pollinique des sols est plus influencé par la végétation locale immédiatement voisine du point de prélèvement du profil, tandis que dans les tourbières plus ou moins importantes l'influence régionale peut être marquée. L'influence locale peut expliquer les pourcentages élevés de Bouleau, de Tilleul, que l'on observe dans certains diagrammes de sols et que quelques auteurs (HAVINGA, 1963) attribuent à la corrosion sélective des autres grains de pollens tel que le pollen de Chêne.

Enfin, il convient de noter qu'il n'existe aucune relation entre la migration des pollens et la formation des horizons pédologiques. Un horizon éluvial, lessivé (A_2 de podzol), est plus riche en pollens qu'un horizon B. Nous n'avons pas constaté d'accumulation de pollens au niveau d'un Bh-Bs aliotique, bien que cette éventualité soit envisagée par DIMBLEBY (1957). D'autre part, les pollens du sol, autre qu'un sol d'alluvions, ne sont pas les témoins d'une sédimentation simultanée des matériaux du sol et des pollens. Le pollen et la fraction minérale ou organique qui l'entoure ne sont pas synchrones, exception faite de l'humus brut.

III. ANALYSE PALYNOLOGIQUE DU PODZOL HUMO-FERRUGINEUX DE SAINT-GORGON

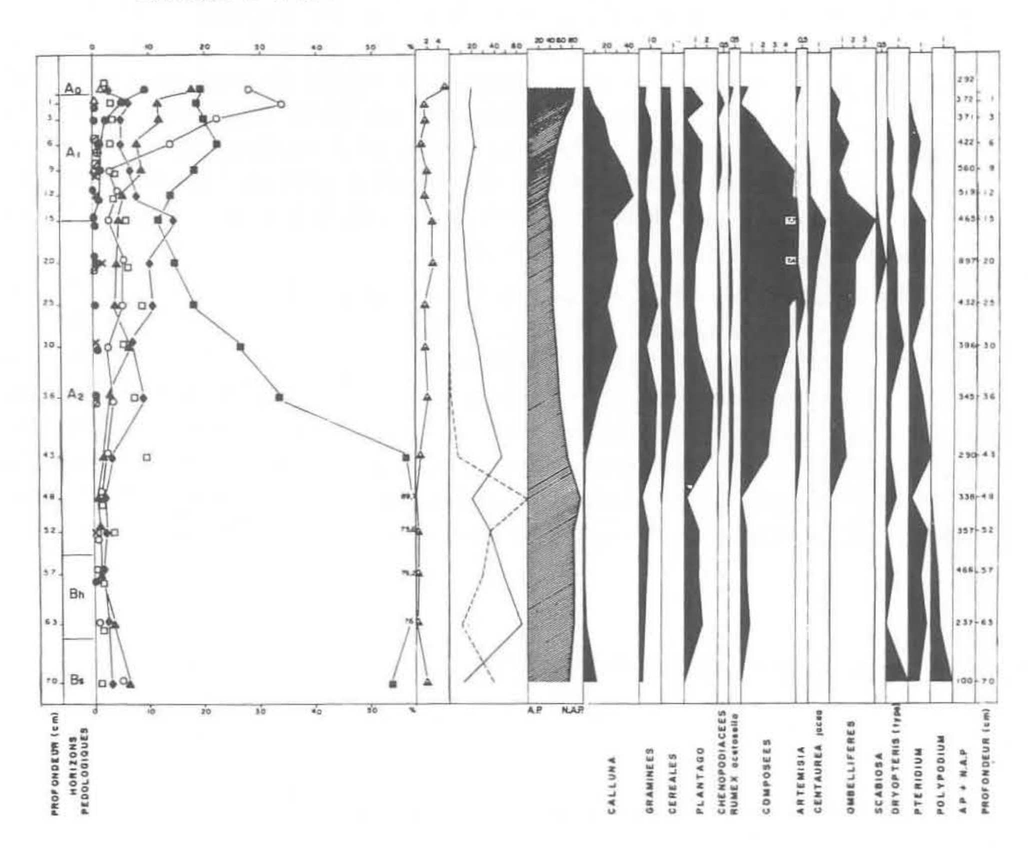
1) DESCRIPTION ET INTERPRÉTATION DU DIAGRAMME.

a) *Description du diagramme.*

— *De 70 à 43 cm :* Prédominance très nette de la Chênaie-Tillaie. *Tilia* est tantôt dominant (70 % à 48 cm) tantôt dominé par *Quercus* (65 % à 63 cm). *Fagus* est présent dans une forêt à peine clairiérée, *Abies* est rare. Les Graminées atteignent 8 %, *Plantago* 1 %. On note la présence de *Carpinus* (0,2 %).

— *De 43 à 6 cm :* Tandis que *Tilia* disparaît rapidement, *Quercus* diminue au profit de *Calluna* (25 à 30 %) et de *Corylus* (14 % à 15 cm). Le rapport AP/T est voisin de 50 %. *Carpinus s'étend* (2 % de moyenne). Parallèlement à l'extension de *Calluna, Plantago* croît ; les Composées et Céréales apparaissent.

— *De 6 à 0 cm :* *Betula* prend une extension considérable et devient dominant. *Calluna* régresse de 20 % à 5 %. *Fagus* et *Pinus* s'accroissent, *Picea* est présent en surface. Les Céréales se maintiennent à un taux inférieur à 1 %.



SAINT-GORGON

Podzol humo-ferrugineux

Symboles conventionnels utilisés dans les diagrammes :

× *Abies*	▲ *Fagus*	⊕ *Salix*
□ *Alnus*	⌀ *Juglans*	- - - - - *Tilia*
○ *Betula*	△ *Picea*	.... *Ulmus*
▲ *Carpinus*	● *Pinus*	——— *Quercus*
♦ *Corylus*	■ *Quercus* + *Tilia* + *Ulmus*	

A.P. : « Arboreal Pollens » = Pollens arboréens.

N.A.P. : « Non Arboreal Pollens » = Pollens non arboréens.

T : Total des pollens = A.P. + N.A.P.

b) *Interprétation du diagramme.*

La partie inférieure du diagramme nous apporte le témoignage d'une chênaie mixte de *Quercus* et *Tilia,* non perturbée par l'Homme, dont l'activité régionale est cependant décelable par la présence de *Plantago.* A la forêt dense succède une phase de clairiérage très prononcée, marquée par le recul de *Quercus,* la disparition de *Tilia,* la rapide extension de *Calluna* et de *Corylus.* Une petite lande s'installe dans la forêt. Il semble que cette dégradation soit d'origine anthropique comme en atteste la présence, dans le diagramme, de pollens de Céréales et de Plantain. Cependant le faible pourcentage de Céréales semble indiquer que les cultures n'ont pas été pratiquées sur cette lande, mais au voisinage.

Dans la partie supérieure du diagramme, *Betula* colonise le podzol ; une Chênaie-Hêtraie se constitue et tend à envahir la lande, alors que la Callune régresse. Il ne paraît pas illogique, compte tenu des observations de DIMBLEBY (1952 *a*) faites sur le pouvoir améliorant de la litière de bouleau, de penser à une destruction de l'humus brut de Callune et à une régénération de l'humus du sol. DIMBLEBY constate en effet que la litière d'un peuplement de bouleaux de 60 ans provoque la destruction du mor de Callune préexistant, la régénération d'un mull acide et l'établissement d'une flore acidiphile (*Deschampsia flexuosa, Sorbus aucuparia, Vaccinium myrtillus,* etc., sans Callune).

La régénération de l'humus du podzol de Saint-Gorgon n'est pas si active que dans le cas cité par DIMBLEBY, mais elle se note dans les analyses pédologiques par les valeurs du taux de saturation (11,9 % en A_1) et du C/N (22,7 en A_1 au lieu de 31,7 en Bh).

2) DATATION.

Nous ne connaissons pas d'analyses de tourbière du Plateau lorrain qui puissent nous permettre d'établir une chronologie précise. D'après ce que l'on sait des périodes palynologiques des Vosges, on peut admettre que de 70 à 43 cm, le phase de Chênaie Mixte avec *Tilia* abondant correspond à la fin de la période atlantique et au début de la période subboréale (VIII de FIRBAS). La phase suivante de clairiérage et d'extension de la Callune interviendrait à la fin de la période subboréale (IX de FIRBAS) et se poursuivrait à la période sub-atlantique (X de FIRBAS).

Le commencement de la dégradation et de la podzolisation du sol par la Callune, la formation des horizons spodiques peuvent raisonnablement se situer

à la fin du subboréal, début du subatlantique, soit aux environs de l'an 1000 av. J. C. Une datation au ^{14}C du Bh du podzol humo-ferrugineux ne peut en aucun cas nous donner l'âge de formation du podzol. Une telle datation ne fournit que l'« âge moyen de résidence » (mean residence time) du carbone au sein de cet horizon. L'âge moyen obtenu sur le Bh du podzol humo-ferrugineux de Saint-Gorgon daté globalement, après élimination des racines par flottation dans l'eau, a donné 1010 ± 125 ans avant le Présent (1).

L'observation des lames minces des horizons de ce sol et l'étude des microstructures montrent que l'horizon Bh s'est en réalité développé au sein d'un ancien horizon argillique (10,78 % d'argile) de sol lessivé. La matière organique se présente en amas piégés dans des paquets d'argile orientée, elle n'enrobe pas les grains de quartz encore munis d'une pellicule plus ou moins épaisse d'argile. Ce sol a été le témoin de deux pédogénèses successives. Au cours des périodes antérieures au Subboréal, le sol a subi une phase de lessivage de l'argile conduisant à un sol lessivé sous la Chênaie-mixte. L'arrivée de la Callune provoque ensuite la podzolisation du sol : le podzol est un podzol secondaire.

IV. ANALYSES PALYNOLOGIQUES DU PODZOL HUMO-FERRUGINEUX DE BAREMBACH

Sur le profil d'une fosse pédologique, nous avons prélevé une première fois des échantillons séparés de 10 cm, le prélèvement a été effectué avec une coupelle sur des quantités de sol trop importantes. L'analyse pollinique de cette coupe a donné un profil cohérent dans la distribution des A.P.F., c'est le diagramme de Barembach I. Nous avons repris l'échantillonnage suivant une coupe verticale distante de 60 cm de la précédente, pour lever l'imprécision des phases de végétation du premier diagramme. Le diagramme de Barembach II présente une courbe de distribution des pollens cohérente jusqu'à 65 cm, où les valeurs des A.P.F. décroissent en fonction de la profondeur. De 70 cm à 100 cm, on observe une répartition anormale des valeurs d'A.P.F. comparables à celles du A_2. Cette numération locale des pollens, la brusque différence de composition pollinique sont probablement les résultats d'un comblement ancien, par des matériaux d'horizons supérieurs, ou d'un vide laissé par une racine décomposée ou d'un terrier. Cet accident n'apparaît pas dans la morphologie du profil pédologique.

(1) Datation par le Laboratoire de Carbone-14 du Centre de Recherches Radiogéologiques de Nancy.

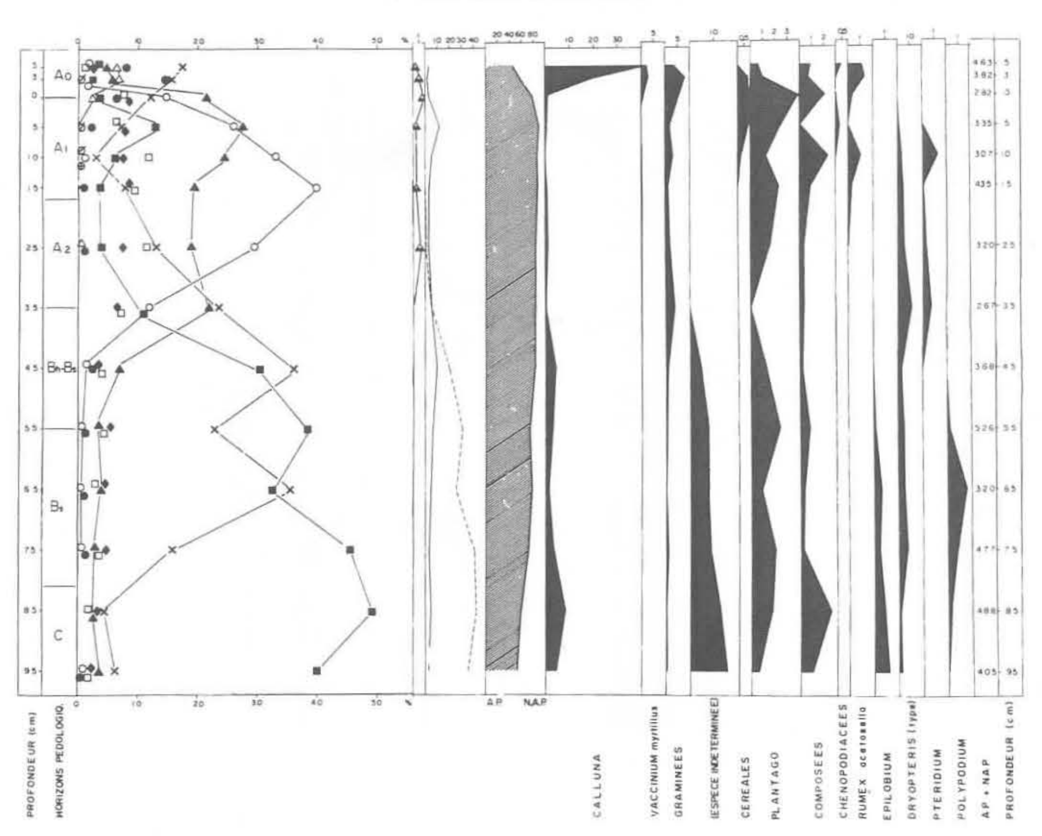
1) Description et interprétation des diagrammes polliniques du podzol.

L'observation des deux diagrammes du podzol humo-ferrugineux de Barembach permet de resituer l'évolution de la végétation locale, suivant les phases régionales établies par Firbas (1948) et reprises par Lemée (1963).

— *de 95 à 75 cm sur le diagramme I et de 65 à 50 cm sur le diagramme II :* phase de la Chênaie mixte et Hêtraie-Sapinière (VIII de Firbas). Dans une première étape, c'est la Chênaie avec *Tilia* prédominant qui constitue la forêt. Présence de *Fagus, Abies, Calluna* (voisin de 10 %) et d'une espèce non identifiée abondante, paraissant écologiquement liée à *Tilia. Abies* principalement, et *Fagus,* tendent à se substituer à la Chênaie mixte, *Tilia* décroît considérablement.

Barembach I

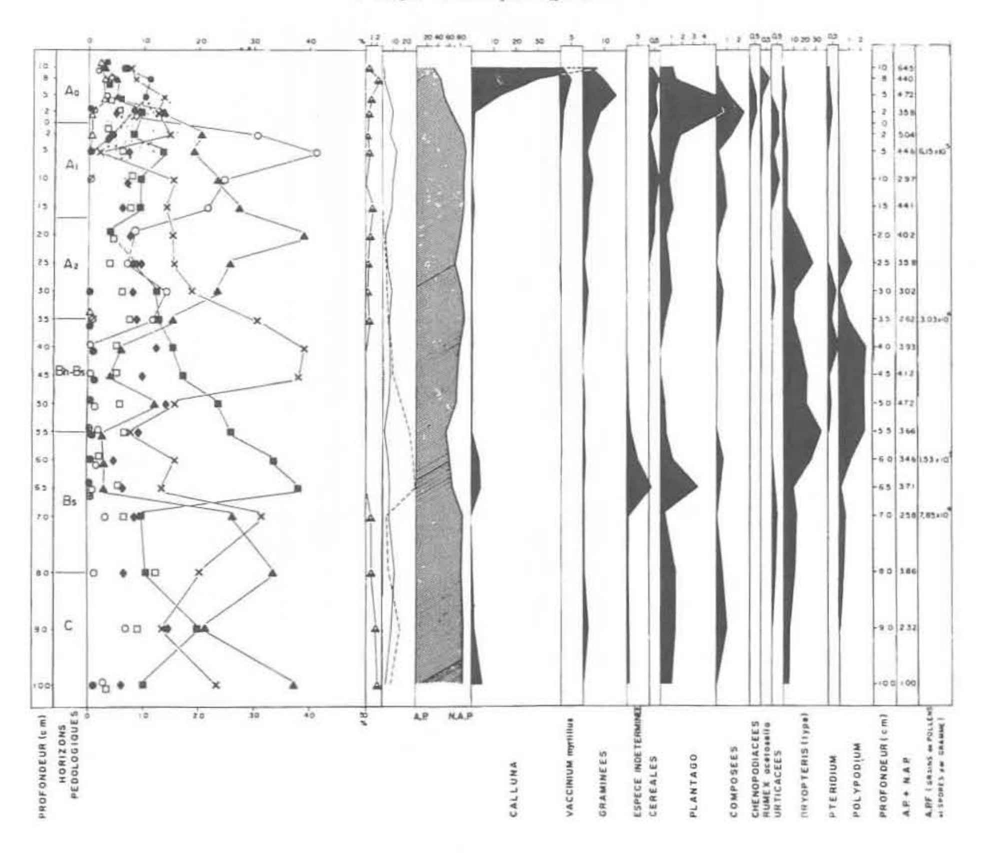
Podzol humo-ferrugineux



— *De 50 à 15 cm sur le diagramme II :*
phase de la Hêtraie-Sapinière ancienne (IX de FIRBAS). La Sapinière s'installe formant une forêt dense à strate herbacée peu importante. A la fin de cette phase *Fagus* se développe, *Abies* recule. *Carpinus* apparaît avec l'extension de *Fagus*. *Tilia* disparaît. L'influence humaine se fait sentir par la présence continue, mais en faible pourcentage de pollens de Céréales (0,5 % de moyenne) et de *Plantago*. L'Homme occupe les vallées importantes à la fin de cette phase.

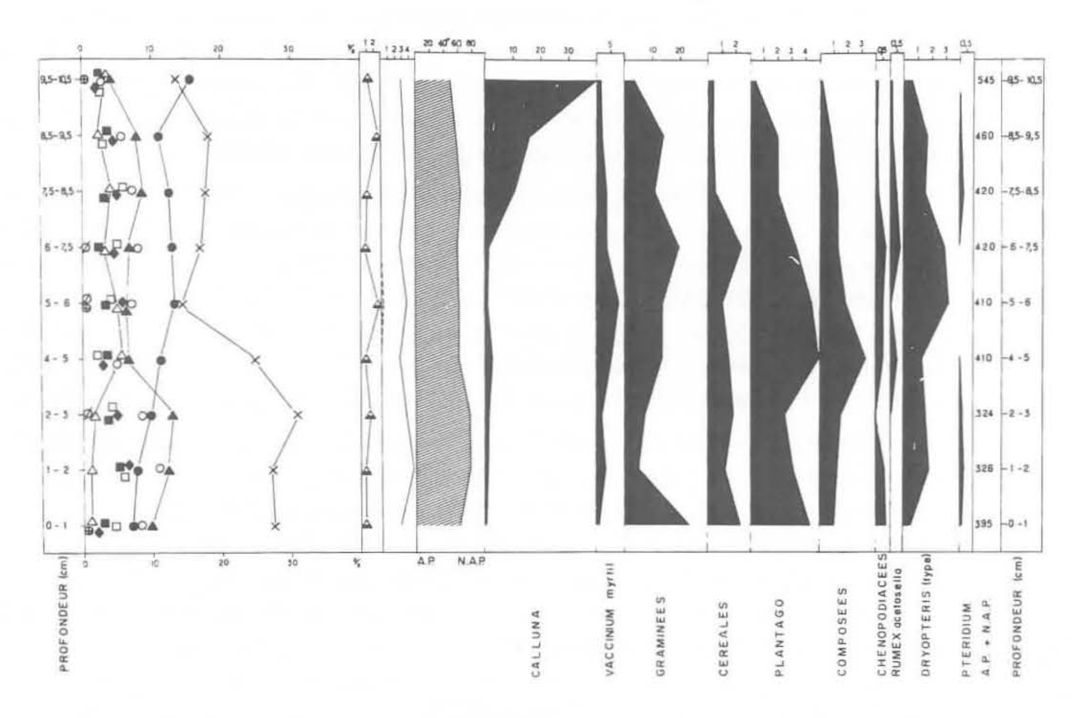
— *De 15 à 2 cm :*
phase de la Hêtraie-Sapinière récente (Xa de FIRBAS ?). Hêtraie à l'intérieur de laquelle *Abies* est brutalement et provisoirement éliminé au profit de *Betula*. Le passage de l'horizon A_1 au mor se marque par une régression rapide de *Fagus* et *Betula*, alors qu'*Abies* retourne sur le site. *Pinus* s'établit dans la région.

BAREMBACH II
Podzol humo-ferrugineux



L'analyse pollinique détaillée de 8 cm d'humus brut et 2 cm de mousses du podzol donne la clé de l'évolution terminale de la végétation.

BAREMBACH
Podzol humo-ferrugineux : Humus brut.



Dans une première étape (de 0-1 à 4-5 cm), une Sapinière à Myrtille (3 à 4 % de pollens de *Vaccinium myrtillus*) contribue à l'édification du mor. *Fagus* est chassé, les Graminées sont abondantes. Les Céréales bien représentées, laissent supposer que la limite altitudinale des cultures s'élève.

Dans une deuxième étape (de 5-6 à 9,5-10,5 cm), l'Homme exploite la Sapinière. La disparition d'*Abies* du site laisse place à une zone nue sur laquelle s'établit *Calluna* ; *Vaccinium* tend à disparaître. Les cultures de Céréales sont abandonnées.

La datation de l'humus brut du podzol repose sur la courbe continue des pollens d'Epicéa. On peut admettre que l'âge du mor coïncide avec l'introduction par l'homme de l'Epicéa dans la région : le mor aurait de 100 à 200 ans. Ce serait la phase Xb de FIRBAS, appelée phase de la Forêt diversifiée (LEMÉE, 1963) ou l'Homme modifie la forêt pour des raisons économiques.

2) Datation et origine de la podzolisation.

On retrouve dans les diagrammes polliniques du podzol de Barembach, les périodes terminales de végétation mises en évidence par Hatt (1937, p. 14) dans la tourbière du Champ-du-Feu distante de 7 km. Ce sont les périodes de la Chênaie mixte, du Sapin, du Hêtre en régression et la période de modifications terminales de la forêt sous l'influence humaine avec Epicéa.

Les phases successives de la végétation des Vosges septentrionales n'ont pas été datées par le ^{14}C. On peut supposer, par recoupements, que la phase de la Chênaie mixte-Hêtraie-Sapinière (VIII de Firbas) s'insère à la fin de l'Atlantique et au début du Subboréal. Elle s'achève entre 1 500 et 2 000 ans avant J.-C. La phase suivante (IX de Firbas) avec la Sapinière, se synchronise avec la fin du subboréal et le début du subatlantique. L'apparition de *Plantago* et des Céréales signalerait le début du subatlantique (de 800 à 500 avant J.-C. ; Lemee, 1963).

Une datation par le ^{14}C a été pratiquée sur le carbone de l'horizon Bh (sur une fraction grossière d'arènes supérieure à 2 mm afin d'éviter toute contamination par les racines), elle a donné 795 $\pm$ 170 ans avant le Présent. La Callune ne peut pas être tenue pour responsable de la podzolisation en raison de son arrivée tardive. Cependant, il faut tenir compte de ce que « l'âge moyen de résidence » du carbone est constamment rajeuni par les apports de matières hydrosolubles provenant de l'humus brut actuel. On peut penser que les premières migrations de complexes pseudosolubles, élaborant un commencement de différentiation du profil, se sont amorcées avec l'établissement de la Sapinière sur les lieux ; soit à la fin du subboréal, aux environs de 1 000 ans av. J.-C. La podzolisation s'est poursuivie ensuite régulièrement.

Par l'analyse pollinique du podzol, on suit l'évolution progressive de la forêt locale. Cette évolution est étroitement liée à la roche-mère très acide. La distribution des pollens en profondeur (Barembach I) indique que la Chênaie mixte et la Chênaie-Hêtraie-Sapinière s'établissent sur un sol acide, à tendance podzolique. Les phases forestières suivantes, la sapinière en particulier, orientent l'évolution du sol vers une accentuation de la podzolisation : un podzol ferrique forestier (Edelman, 1960) s'individualiserait.

Il s'agit bien d'une évolution progressive du sol dirigée vers un pédoclimax qui n'est pas climatique mais stationnel. Les processus d'évolution de ce podzol humo-ferrugineux ont été conditionnés dès la fin de la période atlantique par les caractéristiques chimiques et physiques de la roche-mère : pauvreté en bases, acidité et grande perméabilité du granite de Kagenfels. L'existence de podzols semblables sur la même roche-mère (route de Kligenthal) et sous feuillus, montre qu'il s'agit bien d'un climax stationnel.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

En dehors de l'intérêt présenté par la reconstitution de l'évolution de la végétation dans un site donné, les analyses polliniques de sols podzoliques peuvent permettre des comparaisons concernant l'évolution des sols de régions différentes.

Ainsi, dans la forêt de Sainte-Hélène - Saint-Gorgon, sur le plateau lorrain, l'homme a provoqué par dégradation de la forêt, sans doute à l'Age du Bronze, une évolution régressive du sol. Le remplacement d'une Chênaie-Tillaie par la Callune a favorisé les processus de podzolisation et donné naissance à des sols dégradés : podzols humo-ferrugineux sur alluvions anciennes, sols lessivés podzolisés en surface sur les limons voisins. Cependant, par l'étude des microstructures, ce sol révèle deux phases de pédogénèse successives. Une première phase ancienne de lessivage de l'argile survenue vraisemblablement sous forêt au cours des périodes boréale et atlantique, conduit à un sol lessivé sous Chênaie-Tillaie. L'établissement d'une Lande à Callune sur un support préalablement lessivé induit une pédogénèse podzolisante se superposant à la phase antérieure de lessivage. Le podzol humo-ferrugineux de Saint-Gorgon serait donc un podzol secondaire de Bruyère, dont les horizons Bh et Bs masquent actuellement l'horizon d'accumulation d'argile du sol lessivé initial.

Par contre, le podzol humo-ferrugineux de Barembach, en climat montagnard humide (1 280 mm de pluviométrie à Rothau) est d'une tout autre origine. Il résulte d'une évolution progressive, indépendante de toute dégradation par l'homme. Il se serait formé à la fin du Subboréal, début du Subatlantique, sous l'influence d'une sapinière-hêtraie acidiphile, climatique, en équilibre avec le sol. Il s'agit d'un processus d'évolution, conduisant non à un climax climatique, représenté dans les Vosges hercyniennes par des sols bruns acides sous sapinière à Hêtre (DUCHAUFOUR, 1965), mais à un climax stationnel guidé par les caractères spécifiques de la roche-mère.

D'après les données des analyses palynologiques on peut penser que les processus de podzolisation des deux podzols se sont développés sensiblement à la même période, il y a environ 3 000 ans. Ces deux podzols seraient contemporains quant à leur formation. A Saint-Gorgon, la podzolisation secondaire a été brutale sous la Callune, mais s'est arrêtée avec l'apparition du Bouleau et l'élimination de la Callune ; le podzol n'est plus fonctionnel actuellement. A Barembach, on peut distinguer deux phases d'évolution : d'une part une podzolisation initiale lente, continue sous une sapinière ancienne, et d'autre part une évolution plus rapide de la podzolisation sous l'influence des matières pseudosolubles du mor actuel formé d'abord sous une sapinière à Myrtille, ensuite sous la Callune.

Les datations au ^{14}C reflètent les types d'évolution tant pour le podzol de Saint-Gorgon que pour le podzol de Barembach. Ces deux podzols dont les formations peuvent être contemporaines, présentent néanmoins des « âges moyens de résidence » du carbone dans leurs horizons Bh assez différents. La matière organique du Bh du podzol de Barembach est continuellement rajeunie par les apports de matières pseudosolubles provenant du mor actuel âgé de 1 à 2 siècles. Ceci explique l'âge moyen relativement faible du carbone du Bh de ce podzol (795 ± 170 ans avant le Présent) comparé à l'âge moyen du Bh du podzol de Saint-Gorgon, pratiquement fossile (1010 ± 125 ans avec le Présent).

BIBLIOGRAPHIE

DIMBLEDY (G.W.), 1952*a*. — Soil regeneration on the North-East Yorkshires moors. *J. of Ecol.*, **40** (2), 331-341.

DIMBLEBY (G.W.), 1952*b*. — The historical status of Moorland in North-East Yorkshire. *The New Phytolog.*, **51** (3), 349-354.

DIMBLEBY (G. W.), 1957. — Pollen analysis of terrestrial soils. *The New Phytolog.*, **56** (1132), 12-28.

DIMBLEBY (G.W.), 1961. — Soil pollen analysis. *J. of Sci.*, **12** (1), 1-11.

DIMBLEBY (G.W.), 1963. — Pollen analysis of a Mesolithic site at Addington, Kent. *Grana Palynologica*, **4** (1), 140-148.

DUCHAUFOUR (Ph.), 1965. — Précis de Pédologie, Masson éd., Paris.

EDELMAN (C.M.), 1960. — Podzols forestiers et podzols de Bruyère. *Pédologie Gand*, **15**, 229-249.

Von ELLER (J.P.), 1960. — Développement subvolcanique et volcanique d'un granite hercynien des Vosges septentrionales : le granite du Kagenfels. *Rev. Geo. Phys. et Geol. Dyn.*, **3** (2), 101-107.

FIRBAS (F.), GRUNIG (G.), WEISCHEIDEL (I.J, et WORSEL (G.), 1948. — Beiträge zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte der Vogesen. *Bibl. Botan.*, **121**, 1-76.

GEHU (J.M.) et PLANCHAIS (N.), 1965. — Evolution de la végétation de quelques landes littorales bretonnes d'après l'analyse pollinique des tourbières du Nord-Est de la France. *Bull. Serv. Cart. Géol. Als.-Lor.*, **4**, 1-79.

HAVINGA A.J. (1963). — A palynological investigation of soil profiles developed in cover sand. Mededelingen van de Landbouwho-geschool Te Wageningen, **63** (1), 1-93.

HEIM J. (1963). — Recherches sur les relations entre la végétation actuelle et le spectre pollinique récent dans les Ardennes belges. *Bull. Soc. Roy. Bot. de Belg.*, **96**, 5-92.

IVERSEN J. (1964). — Retrogressive vegetational succession in the post-glacial. *J. of Ecol.*, **52** (suppl.), 59-70.

LEMEE G. (1963). — L'évolution de la végétation et du climat des Hautes-Vosges Centrales depuis la dernière glaciation. Le Honeck, 185-192.

LE TACON F. (1966). — Contribution à l'étude des sols d'un massif forestier des Basses-Vosges. Thèse Fac. des Sci., Nancy, 121 p.

MUNAUT A.V. (1967). — Recherches paléoécologiques en Basse et Moyenne Belgique. *Acta Geographica Lovaniensia*, **6**, 214 p.